

**PERUBAHAN FITOKIMIA KECAMBAH KEMBANG KOL
(*Brassica oleraceae* L., var. *botrytis*) SEBAGAI
RESPONS TERHADAP CAHAYA BIRU**

Mohamad Agus Salim

Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati
agus.salim@uinsgd.ac.id

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati penggunaan cahaya biru terhadap perubahan fitokimia selama perkecambahan kembang kol (*Brassica oleraceae* L., var. *botrytis*) dan korelasi antar parameter yang diukur. Perlakuannya berupa pemberian cahaya biru dan kondisi gelap sebagai kontrol. Pengukuran senyawa fitokimia yang meliputi asam askorbat, glukosinolat, isothiosianat dan enzim myrosinase dilakukan setiap hari selama 5 hari perkecambahan. Metode penelitian ini adalah penelitian eksperimental. Data yang diperoleh dari pengukuran untuk semua parameter disajikan dalam bentuk rata-rata \pm *standard error*. Selanjutnya semua data dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA). Untuk menentukan perbedaan antar kelompok, digunakan *Duncan's multiple range test* (DMRT) pada tingkat kepercayaan 95%. Semua analisis data menggunakan *software SPSS versi 24.0* (IBM, Chicago, IL, USA). Selain itu, pengukuran korelasi antar parameter dilakukan dengan menggunakan *Pearson rank correlation coefficient*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan cahaya biru secara nyata meningkatkan semua parameter fitokimia yang diukur. Korelasi positif signifikan terjadi antara aktivitas myrosinase dan pembentukan isothiosianat. Kandungan glukosinolat kecambah kembang kol tetap tinggi selama pengamatan pada perlakuan cahaya biru dibandingkan dengan kondisi gelap. Cahaya biru menginduksi pembentukan isothiosianat dan aktivitas myrosinase lebih tinggi bila dibandingkan kondisi gelap. Simpulan dari penelitian ini bahwa cahaya biru secara signifikan meningkatkan perubahan fitokimia kecambah kembang kol.

Kata kunci: Asam Askorbat, Glukosinolat, Isothiosianat, Korelasi, Myrosinase

ABSTRACT

*The aim of this study was to observe the use of blue light on phytochemical changes during cauliflower (*Brassica oleraceae* L., var. *botrytis*) germination and the correlation between the parameters measured. The treatment was in the form of giving blue light and dark conditions as a control. Measurement of phytochemical compounds including ascorbic acid, glucosinolates, isothiocyanates and myrosinase enzymes was carried out every day for 5 days of germination. This research method is experimental research. Data obtained from measurements for all parameters are presented in the form of mean \pm standard*

error. Furthermore, all data were analyzed using analysis of variance (ANOVA). To determine differences between groups, Duncan's multiple range test (DMRT) was used at the 95% confidence level. All data analysis used SPSS software version 24.0 (IBM, Chicago, IL, USA). In addition, the measurement of the correlation between parameters is carried out using the Pearson rank correlation coefficient. The results showed that blue light treatment significantly increased all measured phytochemical parameters. A significant positive correlation occurred between myrosinase activity and isothiocyanate formation. The glucosinolate content of cauliflower sprouts remained high during observations in the blue light treatment compared to the dark conditions. Blue light induces isothiocyanate formation and higher myrosinase activity when compared to dark conditions. The conclusion from this study is that blue light significantly increases the phytochemical changes of cauliflower sprouts.

Keywords: *Ascorbic Acid, Glucosinolate, Isothiocyanate, Correlation, Myrosinase*

PENDAHULUAN

Sayuran kelompok kubis kubisan atau Brassica seperti brokoli, kubis, dan kembang kol memiliki manfaat kesehatan yang besar dalam mengatasi gejala penyakit kronis seperti kanker dan aterosklerosis (Idrees et al., 2019). Manfaat sayuran ini terkait dengan senyawa bioaktifnya seperti asam askorbat, glukosinolat, isothiosianat, dan enzim myrosinase. Fungsi glukosinolat bersama dengan myrosinase menghasilkan zat terhidrolisis seperti thiosianat, oksazolidin, epithionitril, nitril dan isothiosianat yang muncul saat terjadi kerusakan sel atau jaringan pada organisme (Wu et al., 2022). Dilaporkan oleh Mastuo et al. (2020) bahwa isothiocyanat telah terbukti sebagai senyawa anti-karsinogenik alami. Selanjutnya, baik penelitian secara *in vivo* maupun *in vitro* menunjukkan bahwa isothiosianat akan mengaktifkan enzim fase II dan menonaktifkan enzim fase I sehingga proses karsinogenesis dapat dihindari. (Mitsiogianni et al., 2021).

Kecambah merupakan sayuran kecil yang semakin populer karena memiliki beragam manfaat bagi kesehatan manusia dibandingkan dengan sayuran dewasanya. Kecambah mengandung senyawa bioaktif yang melimpah dan kualitas nutrisi terbaik yang tersedia dalam suatu tanaman (Wojdyło et al., 2020). Kandungan glukosinolat sebagai senyawa bioaktif sangat melimpah pada kecambah kubis kubisan (Abellán et al., 2019). Almuhayawi et al. (2020) telah melaporkan bahwa kecambah brokoli mengandung glukosinolat 20 kali lebih banyak daripada brokoli dewasa. Selama perkecambahan akan terjadi peningkatan kandungan asam askorbat, sehingga kecambah menjadi sumber vitamin C yang sangat dibutuhkan untuk kesehatan manusia (Fiutak and Michalczyk, 2020).

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa cahaya dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena memberikan energi yang tinggi dan juga dapat mempercepat pembentukan senyawa bioaktif

(Artés-Hernández et al., 2022). Noguchi et al. (2021) melaporkan bahwa perlakuan cahaya biru meningkatkan aktivitas myrosinase dari hipokotil lobak sejak 10 menit pengamatan dan mencapai puncaknya pada 30 menit kemudian. Kecambah brokoli yang diberi perlakuan cahaya biru dalam waktu singkat sebelum dipanen secara signifikan meningkatkan kandungan zat fitokimia seperti β -karoten, xantofil, glukosinolat, glukoraphanin dan juga mikronutrien esensial (Yang et al., 2021). Xue et al. (2021) menunjukkan bahwa kecambah brokoli yang terkena cahaya biru akan menghasilkan senyawa alifatik-glukosinolat yang melimpah dan meningkatkan produksi zat bioaktif lain yang berharga bagi kesehatan manusia.

Cahaya biru yang diaplikasikan pada kecambah brokoli lebih baik daripada cahaya putih, merah, kuning, hijau dan ungu dalam meningkatkan kualitas nutrisinya (Zhuang et al., 2022). Dengan demikian, cahaya biru telah terbukti mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman kubis kubisan secara efektif dan juga merangsang sintesis senyawa bioaktif seperti glukosinolat. Penelitian yang dilaksanakan telah mengamati pengaruh cahaya biru terhadap perubahan fitokimia termasuk kandungan asam askorbat, glukosinolat, isothiosianat dan aktivitas myrosinase serta korelasi antara parameter yang diukur selama perkecambahan benih kembang kol.

METODE PENELITIAN

Persiapan Bahan

Benih kembang kol diproduksi oleh *clause vegetable seeds* dan dibeli dari toko pertanian Pusaka Tani (Sumedang, Jawa Barat, Indonesia). Standar Sinigrin, standar sulforaphane dan 1,2-benzenedithiol dipasok oleh *Sigma chemical Co.* (St Louis, MO, USA). Reagen dan bahan kimia lain yang akan digunakan adalah kelas analitik dan dibeli dari Toko Sakura (Bandung, Jawa Barat, Indonesia).

Perkecambahan

Biji kembang kol disterilkan dengan 1,5% natrium hipoklorit selama 20 menit dan dicuci dengan aquades. Selanjutnya, benih direndam selama 4 jam dalam aquades pada suhu 35°C, dan dikultur dalam cawan petri (Θ 15 cm) yang berisi pasir zeolit steril. Benih berkecambah di bawah cahaya biru selama 1, 2, 3, 4, dan 5 hari. Jarak benih dengan sumber cahaya 50 cm dan intensitas cahaya biru ($50 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$). Benih yang dikecambahkan pada kondisi gelap digunakan sebagai kontrol. Kecambah setiap hari dipanen kemudian dicuci dengan aquades steril, dikeringkan, dikemas pada kantong plastik, diberi keterangan dan disimpan di dalam lemari es untuk analisis selanjutnya.

Pengukuran Kandungan Asam Askorbat

Kandungan asam askorbat diukur mengikuti prosedur dari Volden et al. (2009). Larutan asam oksalat (1% (b/v) : 10 ml) sebagai pelarut dalam ekstraksi

kecambah. Setelah tercampur rata, larutan disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 9000 rpm. Supernatan yang diperoleh dipisahkan menggunakan filter kertas dengan ukuran pori 0,45 μm . Sampel dimasukkan ke dalam HPLC dengan *UV-Diode Array Detector* pada 229 nm dan kolom C18 fase terbalik (4,6x250 mm, 5 μm , ZORBAX, Eclipse). Kandungan asam askorbat ditentukan dengan menggunakan kurva standar dan hasilnya dinyatakan sebagai mg kg^{-1} berat segar (BS).

Pengukuran Kandungan Glukosinolat

Kandungan glukosinolat diukur secara spektrofotometri menggunakan prosedur Aghajanzadeh et al. (2014). Sampel kering (30 mg) ditambahkan ke 80% metanol dan dipanaskan dalam *thermoblock* pada suhu 95°C selama tiga menit untuk menghentikan aktivitas myrosinase. Setelah campuran didinginkan, 30 μL supernatan dilarutkan dalam 2 mM *disodium tetrachloropalladate* (Na_2PdCl_4) (900 μL) dan menggunakan spektrofotometer UV-VIS, absorbansi ditentukan pada 425 nm. Kurva kalibrasi menggunakan standar sinigrin. Kandungan glukosinolat dinyatakan dalam mg SE g^{-1} berat kering (BK).

Pengukuran Pembentukan Isothiosianat

Kandungan isothiosianat ditentukan menurut Wang et al. (2015) dengan sedikit modifikasi. Kecambah kembang kol segar (0,4 g) diencerkan dengan air suling (8 ml) dan diinkubasi pada suhu 35°C selama 4 jam. Kemudian diekstraksi dengan menambahkan 3 ml metilen diklorida selama 30 menit. Sampel disentrifugasi selama 15 menit pada 10.000 rpm untuk mendapatkan fase organik yang mengandung isothiosianat. Supernatan dicampur dengan metanol (2 ml), 7 mmol l^{-1} 1,2-benzenedithiol (0,2 ml), 50 mmol l^{-1} buffer natrium borat (1,8 ml ; pH 8,5) dan diinkubasi pada 60°C selama 50 menit. Setelah dingin, sampel disentrifugasi dengan kecepatan rendah selama 5 menit. Supernatan (20 μl) dimuat ke kolom Eclipse XDB-C18 (Agilent 1200 HPLC). Kandungan isothiosianat dilaporkan sebagai $\mu\text{mol g}^{-1}$ BS.

Pengukuran Aktivitas Myrosinase

Pengukuran aktivitas myrosinase ditentukan menurut protokol Kim et al. (2006) dengan beberapa modifikasi. Kecambah kembang kol (0,2 g) dicampur dengan 0,1 mol l^{-1} buffer natrium-fosfat (3 ml; pH 6) dan diinkubasi dalam *water bath*. Kemudian campuran disentrifugasi pada 8000 rpm selama 12 menit. Supernatan (100 μl) dicampur dengan 0,025 mmol l^{-1} sinigrin hingga volume total 200 μl dan diinkubasi selama 15 menit pada suhu 37°C. Untuk menghentikan reaksi, sampel diinkubasi selama 5 menit dalam air mendidih. Konsentrasi sinigrin yang terkandung dalam campuran diukur secara spektrofotometri pada 227 nm. Satu nm sinigrin yang berubah per menit menunjukkan satu unit myrosinase. Aktivitas myrosinase dinyatakan sebagai unit mg^{-1} protein.

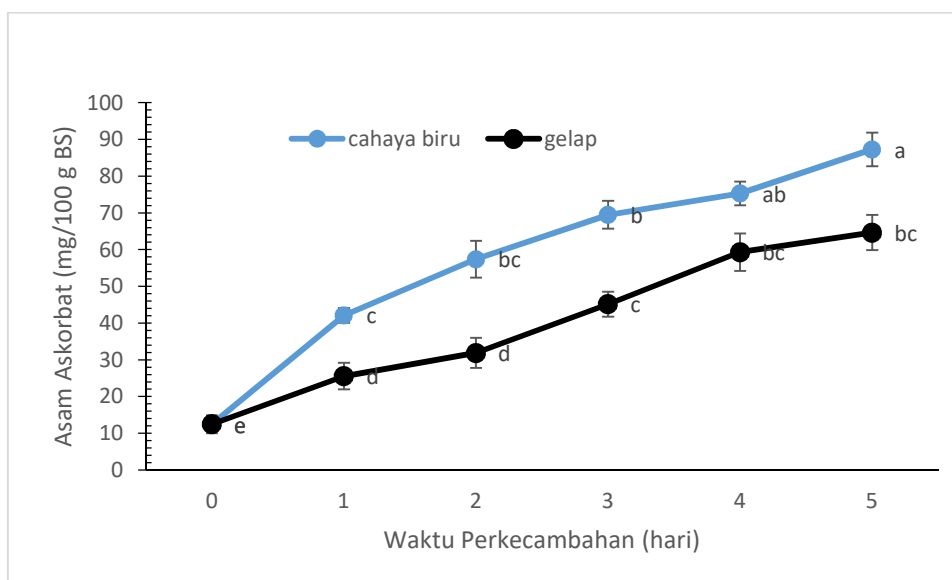
Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengukuran untuk semua parameter disajikan dalam bentuk rata-rata \pm *standard error*. Selanjutnya semua data dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA). Untuk menentukan perbedaan antar kelompok, digunakan *Duncan's multiple range test* (DMRT) pada tingkat kepercayaan 95%. Semua analisis data menggunakan *software SPSS versi 24.0* (IBM, Chicago, IL, USA). Selain itu, pengukuran korelasi antar parameter dilakukan dengan menggunakan *Pearson rank correlation coefficient*.

HASIL PENELITIAN

Kandungan Asam Askorbat

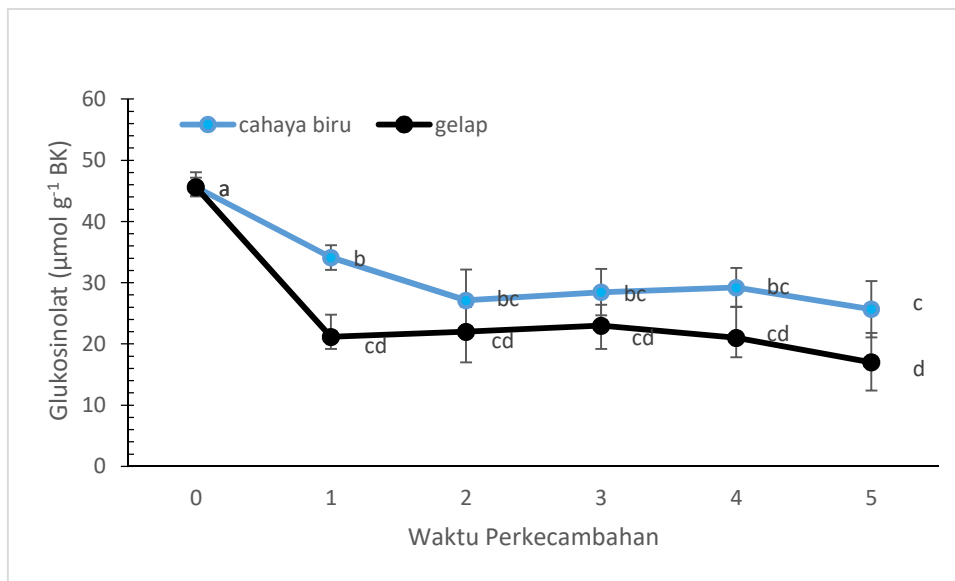
Biji kembang kol sebelum berkecambah mengandung asam askorbat paling rendah ($12,46 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ BS}$) (Gambar 1). Terlihat, kandungan asam askorbat terus meningkat seiring dengan pertumbuhan kecambah dan mencapai nilai tertinggi pada akhir pengamatan masing-masing sebesar $87,27$ dan $64,63 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BS}$ di bawah perlakuan cahaya biru dan kondisi gelap. Perkecambahan secara nyata mampu meningkatkan kandungan asam askorbat sekitar 5 kali lipat pada akhir pengamatan. Perlakuan cahaya biru menghasilkan lebih banyak akumulasi asam askorbat dalam kecambah kembang kol dibandingkan dengan perlakuan kondisi gelap. Kandungan asam askorbat pada kecambah kembang kol yang diberi perlakuan cahaya biru pada umur 1, 2 dan 3 hari masing-masing lebih tinggi $64,78\%$, $80,10\%$ dan $53,86\%$ dibandingkan dengan yang perlakuan kondisi gelap.



Gambar 1. Perubahan Kandungan Asam Askorbat ($\text{Mg Kg}^{-1} \text{ BS}$) pada Kecambah Kembang Kol Selama Lima Hari Perkecambahan

Kandungan Glukosinolat

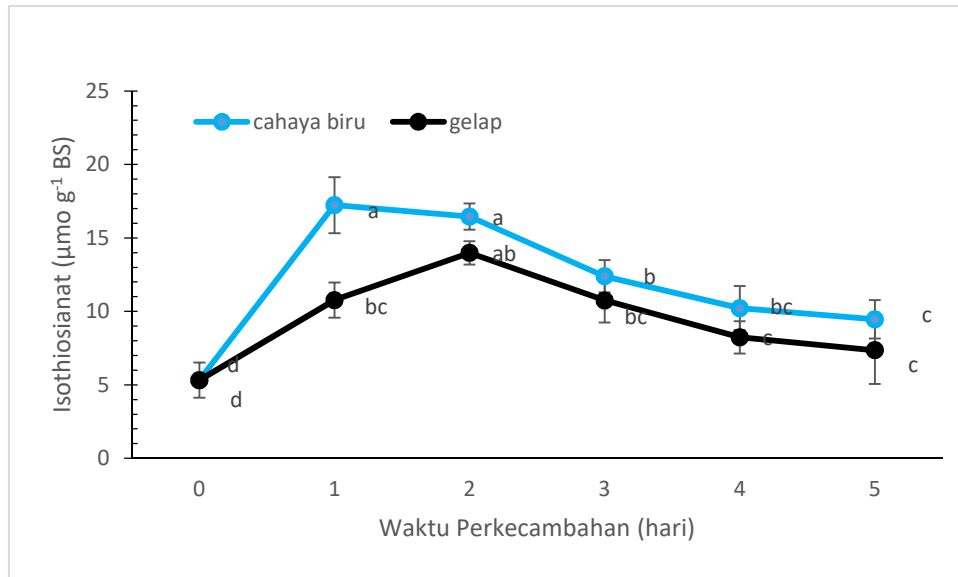
Kandungan glukosinolat total kecambah kembang kol, baik yang diberi perlakuan cahaya biru maupun kondisi gelap, terus menurun seiring dengan meningkatnya umur berkecambah, meskipun penurunannya tidak signifikan dari hari ke-2 sampai ke-4 (Gambar 2). Terjadi penurunan kandungan glukosinolat total sekitar 80% pada akhir pengamatan, baik yang diberi perlakuan cahaya biru maupun kondisi gelap. Perlakuan cahaya biru berpengaruh positif terhadap kandungan glukosinolat total kecambah kembang kol yang terlihat pada hari ke-1 perkecambahan, kandungannya 61,90% lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan kondisi gelap.



Gambar 2. Perubahan kandungan glukosinolat total (mg SE g⁻¹ BK) pada kecambah kembang kol selama lima hari perkecambahan

Pembentukan Isothiosianat

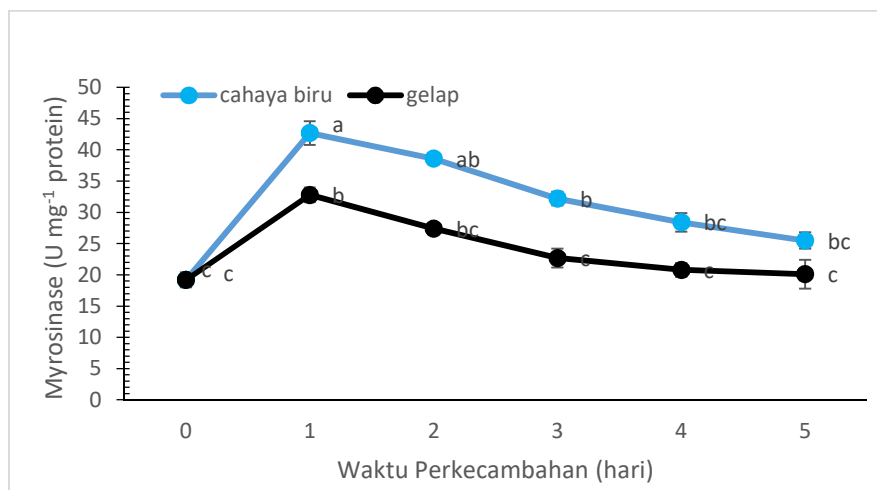
Pada periode awal perkecambahan, baik perlakuan cahaya biru maupun kondisi gelap mampu meningkatkan kandungan isothiosianat kecambah kembang kol namun menurun drastis setelahnya (Gambar 3). Kandungan isothiosianat pada kecambah yang diberi perlakuan cahaya biru mencapai puncaknya pada hari ke-1 (17,23 µmol g⁻¹ BS) dan pada kondisi gelap hari ke-2 (13,98 µmol g⁻¹ BS). Kecambah kembang kol yang tumbuh di bawah cahaya biru akan menunjukkan pembentukan isothiosianat yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi gelap.



Gambar 3. Perubahan pembentukan isothiosianat ($\mu\text{mol g}^{-1}$ BS) pada kecambah kembang kol selama lima hari perkecambahan

Aktivitas Myrosinase

Kecambah kembang kol menunjukkan aktivitas myrosinase yang meningkat hingga tertinggi tercapai pada hari ke-1 perkecambahan baik pada kecambah yang diberi perlakuan cahaya biru maupun kondisi gelap dan menurun setelahnya hingga tetap stabil (Gambar 4). Perlakuan cahaya biru menghasilkan aktivitas myrosinase yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi gelap. Aktivitas myrosinase kecambah kembang kol umur 1 hari yang mendapat perlakuan cahaya biru lebih tinggi 30,18% dibandingkan dengan perlakuan kondisi gelap.



Gambar 4. Perubahan aktivitas myrosinase (U mg^{-1} protein) pada kecambah kembang kol selama lima hari perkecambahan

Korelasi

Analisis korelasi antara parameter fitokimia kecambah kembang kol yang mendapat perlakuan cahaya biru (Gambar 5). Terdapat korelasi negatif yang signifikan antara kadar glukosinolat dan asam askorbat. Selanjutnya, hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif yang signifikan dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,993 antara aktivitas myrosinase dan pembentukan isothiosianat. Asam askorbat berkorelasi positif lemah dengan pembentukan isothiosianat dan aktivitas myrosinase. Sedangkan glukosinolat berkorelasi negatif dengan pembentukan isothiosianat dan aktivitas myrosinase.

	ASA	GLS	ITS	AMS
ASA	1			
GLS	-0,932*	1		
ITS	0,194	-0,494	1	
AMS	0,134	-0,423	0,993*	1

Gambar 5. Korelasi antara parameter fitokimia kecambah kembang kol pada perlakuan cahaya biru. Korelasi 1 (biru pekat) menunjukkan korelasi positif sempurna, sedangkan -1 (merah pekat) menggambarkan korelasi negatif sempurna. ASA = asam askorbat; GLS = glukosinolat; ITS=Isothiocyanat; AMS = aktivitas myrosinase; *signifikan pada $p \leq 0,05$.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian Singh et al. (2022) melaporkan bahwa senyawa asam askorbat yang dihasilkan oleh kecambah brokoli tidak terdeteksi atau sangat rendah. Berbeda dengan penelitian ini yang menunjukkan peningkatan tajam dan konstan selama perkecambahan biji kembang kol (Gambar 1). Sementara itu, da Silva et al. (2021) menunjukkan bahwa sintesis asam askorbat diaktifkan kembali selama perkecambahan biji kubis. Hasil penelitian lain menyebutkan bahwa selama perkecambahan biji kubis kandungan asam askorbat akan meningkat tajam kemudian turun kembali ke nilai semula (Mezzetti et al., 2022). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa waktu perkecambahan sangat mempengaruhi akumulasi asam askorbat dan cahaya biru dapat mempercepat peningkatan kandungan asam askorbat dibandingkan dengan kondisi gelap. Menurut di Bella et al. (2020) cahaya biru akan menginduksi kecambah untuk melakukan biosintesis metabolit sekunder seperti asam askorbat.

Senyawa glukosinolat pada tumbuhan yang termasuk kelompok kubis kubisan berasal dari dua proses yang berbeda. Proses pertama adalah adanya penginduksi eksternal sehingga terjadi biosintesis glukosinolat, proses kedua adalah reaksi hidrolisis yang dilakukan dari dalam oleh enzim myrosinase (Mitreiter and Gigolashvili, 2021). Biasanya pada tanaman kubis kubisan dengan bertambahnya umur tanaman maka kandungan glukosinolatnya akan semakin

berkurang (Teng et al., 2021). Ada korelasi negatif antara kandungan glukosinolat dan asam askorbat (Gambar 4). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan glukosinolat semakin menurun dengan bertambahnya umur kecambah (gambar 2). Sementara itu, kandungan asam askorbat meningkat (Gambar 1). Banyak penelitian bertujuan untuk meningkatkan atau mempertahankan kandungan glukosinolat. Aplikasi cahaya buatan (fotoperiode 16 jam terang/8 jam gelap) pada kecambah brokoli menghasilkan total senyawa glukosinolat 33% lebih tinggi dibandingkan pada saat gelap (Castillejo et al., 2021). Demikian juga kecambah lobak yang diberi perlakuan NaCl 100 mM akan memiliki kandungan glukosinolat yang tinggi pada umur 5 dan 7 hari (Chen et al., 2019). Perlakuan sukrosa dan manitol pada kecambah brokoli mampu mengakumulasi total glukosinolat. Menurut Chowdhury et al. (2021) faktor lingkungan seperti cahaya dan suhu dapat meningkatkan kandungan glukosinolat. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa cahaya biru dapat mempertahankan kandungan glukosinolat kecambah kembang kol yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi gelap (Gambar 2). Penelitian Guijarro-Real et al. (2022) melaporkan bahwa penerapan cahaya telah menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap pembentukan glukosinolat pada kecambah sawi. Ada kemungkinan biosintesis glukosinolat didukung dengan adanya cahaya biru. Di sisi lain, cahaya biru akan menghambat beberapa proses degradasi yang perlu dibuktikan dalam penelitian lebih lanjut.

Isothiosianat dalam kecambah berasal dari glukosinolat yang dihidrolisis menggunakan enzim myrosinase. Oleh karena itu, pengamatan isothiosianat tidak lepas dari aktivitas myrosinase dan kandungan glukosinolat. Kandungan isothiosianat pada kecambah kembang kol meningkat drastis hingga hari pertama dan menurun setelahnya (Gambar 3). Hal ini berkorelasi dengan aktivitas myrosinase yang mencapai puncaknya pada hari ke-1 dan menurun setelahnya (Gambar 4) meskipun sebaliknya kandungan glukosinolat terus menurun seiring dengan berjalannya waktu perkecambahan kembang kol. Setelah umur kecambah kembang kol lebih dari satu hari, kandungan isothiosianat terus menurun akibat penurunan aktivitas myrosinase dan kandungan glukosinolat. Pada Gambar 5 terlihat jelas bahwa pembentukan isothiosianat berkorelasi positif dengan aktivitas myrosinase dan berkorelasi negatif dengan kandungan glukosinolat. Kyriakou et al. (2022) melaporkan bahwa tekanan tinggi akibat perlakuan sukrosa dan manitol dapat memicu pembentukan isothiosianat yang lebih tinggi. Sedangkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa cahaya biru secara signifikan meningkatkan pembentukan isothiosianat dibandingkan dengan kondisi gelap (Gambar 3). Salah satu kemungkinannya adalah kandungan glukosinolat yang lebih tinggi pada perlakuan cahaya biru (Gambar 2) karena tingginya pembentukan isothiosianat atau aktivitas myrosinase yang distimulasi oleh cahaya biru (Xie et al., 2022).

Pada Gambar 4 terlihat bahwa kandungan myrosinase pada kecambah kembang kol meningkat hingga hari ke-1, namun kembali menurun hingga akhir pengamatan yang kadarnya hampir sama dengan yang ada di dalam biji. Peristiwa

yang sama juga ditemukan pada perkecambahan brokoli (Men et al., 2022). Sebenarnya aktivitas myrosinase akan berbeda tergantung pada organ, spesies tanaman, dan fase pertumbuhan (Galádová et al., 2022), yaitu selama 2 hari pertama perkecambahan aktivitas akan meningkat dan kemudian akan menurun hingga akhir pengamatan (Tomasello et al., 2020). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perlakuan glukosa menghambat aktivitas myrosinase pada kecambah pak choi, tetapi meningkat tajam pada kecambah lobak (Abdalla et al., 2020). Begitu juga pada penelitian lain, pemberian sukrosa 176 mM dapat menghambat aktivitas myrosinase pada kecambah kubis (Beran et al., 2018). Hasil pengamatan pada kecambah kembang kol, perlakuan cahaya biru sangat meningkatkan aktivitas myrosinase dibandingkan pada kondisi gelap (Gambar 4).

SIMPULAN

Kecambah kembang kol berpotensi sebagai makanan alami dan suplemen makanan karena banyak mengandung senyawa bioaktif. Perlakuan cahaya biru pada perkecambahan biji kembang kol terbukti mampu meningkatkan asam askorbat, glukosinolat, pembentukan isothiosianat dan aktivitas myrosinase yang baik untuk kesehatan manusia. Kecambah kembang kol memiliki potensi sebagai makanan penunjang kesehatan dengan perlakuan cahaya biru yang dapat dikembangkan baik dalam skala kecil maupun skala industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, M.A., Meschede, C.A.C. & Mühlhling, K. H. (2020). Selenium foliar application alters patterns of glucosinolate hydrolysis products of pak choi *Brassica rapa* L. var. *chinensis*. *Scientia Horticulturae*, 273, 109614. doi :10.1016/j.scienta. 2020.109614
- Abellán, Á., Domínguez-Perles, R., Moreno, D.A. & García-Viguera, C. (2019). Sorting out the value of cruciferous sprouts as sources of bioactive compounds for nutrition and health. *Nutrients*, 11(2), 429. doi:10.3390/nu11020429
- Aghajanzadeh, T., Hawkesford, M.J. & De Kok, L.J. (2014). The significance of glucosinolates for sulfur storage in Brassicaceae seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 5, 704. doi : 10.3389/fpls.2014.00704
- Almuhayawi, M.S., AbdElgawad, H., Al Jaouni, S.K., Selim, S. & Hassan, A.H.A. (2020). Elevated CO₂ improves glucosinolate metabolism and stimulates anticancer and anti-inflammatory properties of broccoli sprouts. *Food Chemistry*, 328, 127102. doi:10.1016/j.foodchem.2020.127102
- Artés-Hernández, F., Castillejo, N. & Martínez-Zamora, L. (2022). UV and visible spectrum led lighting as abiotic elicitors of bioactive compounds in sprouts, microgreens, and baby leaves—a comprehensive review including their mode of action. *Foods*, 11(3), 265. doi:10.3390/foods11030265
- Beran, F., Sporer, T., Paetz, C., Ahn, S.J. & Betzin, F. (2018). One pathway is not enough: the cabbage stem flea beetle *Psylliodes chrysocephala* uses multiple strategies to overcome the glucosinolate-myrosinase defense in its host

- plants. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1754. doi:10.3389/fpls.2018.01754
- Castillejo, N., Martínez-Zamora, L., Gómez, P.A., Pennisi, G. & Crepaldi, A. (2021). Postharvest yellow LED lighting affects phenolics and glucosinolates biosynthesis in broccoli sprouts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103, 104101. doi:10.1016/j.jfca.2021.104101
- Chen, W., Karangwa, E., Yu, J., Xia, S. & Feng, B. (2019). Effect of sodium chloride concentration on off-flavor removal correlated to glucosinolate degradation and red radish anthocyanin stability. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 937–950. doi:10.1007/s13197-018-03559-8
- Chowdhury, M., Kiraga, S., Islam, M.N., Ali, M. & Reza, M.N. (2021). Effects of temperature, relative humidity, and carbon dioxide concentration on growth and glucosinolate content of kale grown in a plant factory. *Foods*, 10(7), 1524. doi.org/10.3390/foods10071524
- da Silva, D.L., de Mello, Prado, R., Tenesaca, L.F.L., da Silva, J.L.F. & Mattiuz, B.H. (2021). Silicon attenuates calcium deficiency by increasing ascorbic acid content, growth and quality of cabbage leaves. *Scientific Reports*, 11(1), 1–9. doi:10.1038/s41598-020-80934-6
- di Bella, M.C., Niklas, A., Toscano, S., Picchi, V., & Romano, D. (2020). Morphometric characteristics, polyphenols and ascorbic acid variation in Brassica oleracea L. novel foods: Sprouts, microgreens and baby leaves. *Agronomy*, 10(6), 782. doi:10.3390/agronomy10060782
- Fiutak, G. & Michalczyk, M. (2020). Effect of artificial light source on pigments, thiocyanates and ascorbic acid content in kale sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *Sabellica* L.). *Food Chemistry*, 330, 127189. doi:10.1016/j.foodchem.2020.127189
- Galádová, H., Polozsányi, Z., Breier, A. & Šimkovič, M. (2022). Sulphoraphane Affinity-Based Chromatography for the Purification of Myrosinase from *Lepidium sativum* Seeds. *Biomolecules*, 12(3), 406. doi:10.3390/biom12030406
- Guijarro-Real, C., Hernández-Cánovas, L., Abellán-Victorio, Á., Ben-Romdhane, O. & Moreno, D.A. (2022). The Combination of Monochromatic LEDs and Elicitation with Stressors Enhances the Accumulation of Glucosinolates in Mustard Sprouts with Species-Dependency. *Plants*, 11(21), 2961. doi:10.3390/plants11212961
- Idrees, N., Tabassum, B., Sarah, R. & Hussain, M.K. (2019). Natural compound from genus brassica and their therapeutic activities. In *Natural bio-active compounds* (pp. 477–491). Springer. doi:10.1007/978-981-13-7154-7_15
- Kim, H.J., Chen, F., Wang, X., & Choi, J.H. (2006). Effect of methyl jasmonate on phenolics, isothiocyanate, and metabolic enzymes in radish sprout (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(19), 7263–7269. doi:10.1021/jf060568c
- Kyriakou, S., Trafalis, D.T., Deligiorgi, M.V., Franco, R. & Pappa, A. (2022). Assessment of Methodological Pipelines for the Determination of Isothiocyanates Derived from Natural Sources. *Antioxidants*, 11(4), 642. doi:10.3390/antiox11040642
- Mastuo, T., Miyata, Y., Yuno, T., Mukae, Y. & Otsubo, A. (2020). Molecular mechanisms of the anti-cancer effects of isothiocyanates from cruciferous vegetables in bladder cancer. *Molecules*, 25(3), 575.

<https://doi.org/10.3390/molecules25030575>

- Men, X., Han, X., Lee, S.J., Oh, G. & Park, K.T. (2022). Anti-Obesogenic Effects of Sulforaphane-Rich Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Sprouts and Myrosinase-Rich Mustard (*Sinapis alba* L.) Seeds In Vitro and In Vivo. *Nutrients*, 14(18), 3814. doi:10.3390/nu14183814
- Mezzetti, B., Biondi, F., Balducci, F., Capocasa, F. & Mei, E. (2022). Variation of Nutritional Quality Depending on Harvested Plant Portion of Broccoli and Black Cabbage. *Applied Sciences*, 12(13), 6668. doi:10.3390/app12136668
- Mitreiter, S. & Gigolashvili, T. (2021). Regulation of glucosinolate biosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 72(1), 70–91. doi:10.1093/jxb/eraa479
- Mitsiogianni, M., Kyriakou, S., Anestopoulos, I., Trafalis, D.T. & Deligiorgi, M.V. (2021). An evaluation of the anti-carcinogenic response of major isothiocyanates in non-metastatic and metastatic melanoma cells. *Antioxidants*, 10(2), 284. doi:10.3390/antiox10020284
- Noguchi, Y., Watanabe, R., Arai, A., Yamada, K. & Hasegawa, K. (2021). Synthesis and bioactivity of 4-methylthio-3-butenylisothiocyanate and raphanusanin, phototropism-regulating substances of radish hypocotyls. *Tetrahedron Letters*, 71, 153025. doi:10.1016/j.tetlet.2021.153025
- Singh, S., Kumar, S., Singh, S.P., Yadav, S., Singh, A. & Awasthi, M.K. (2022). Plant spacing and cultivar on quality attributes in sprouting broccoli. *South African Journal of Botany*, 148, 737–741. doi:10.1016/j.sajb.2022.04.049
- Teng, Z., Yu, Y., Zhu, Z., Hong, S.B. & Yang, B. (2021). Melatonin elevated Sclerotinia sclerotiorum resistance via modulation of ATP and glucosinolate biosynthesis in *Brassica rapa* ssp. *pekinensis*. *Journal of Proteomics*, 243, 104264. doi:10.1016/j.jprot.2021.104264
- Tomasello, B., Di Mauro, M.D., Malfa, G.A., Acquaviva, R. & Sinatra, F. (2020). Rapha Myr®, a blend of sulforaphane and myrosinase, exerts antitumor and anoikis-sensitizing effects on human astrocytoma cells modulating sirtuins and DNA methylation. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(15), 5328. doi:10.3390/ijms21155328
- Volden, J., Bengtsson, G.B. & Wicklund, T. (2009). Glucosinolates, L-ascorbic acid, total phenols, anthocyanins, antioxidant capacities and colour in cauliflower (*Brassica oleracea* L. ssp. *botrytis*); effects of long-term freezer storage. *Food Chemistry*, 112(4), 967–976. doi:10.1016/j.foodchem.2008.07.018
- Wang, Z., Yang, R., Guo, L., Fang, M. & Zhou, Y. (2015). Effects of abscisic acid on glucosinolate content, isothiocyanate formation and myrosinase activity in cabbage sprouts. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(8), 1839–1846. doi:10.1111/ijfs.12848
- Wojdyło, A., Nowicka, P., Tkacz, K. & Turkiewicz, I.P. (2020). Sprouts vs. microgreens as novel functional foods: Variation of nutritional and phytochemical profiles and their in vitro bioactive properties. *Molecules*, 25(20), 4648. doi:10.3390/molecules25204648
- Wu, J., Cui, S., Liu, J., Tang, X. & Zhao, J. (2022). The recent advances of glucosinolates and their metabolites: Metabolism, physiological functions and potential application strategies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–18. doi:10.1080/10408398.2022.2059441
- Xie, C., Li, W., Gao, R., Yan, L. & Wang, P. (2022). Determination of

- glucosinolates in rapeseed meal and their degradation by myrosinase from rapeseed sprouts. *Food Chemistry*, 382, 132316. doi:10.1016/j.foodchem.2022.132316
- Xue, A., Liang, W., Wen, S., Gao, Y., Huang, X. (2021). Metabolomic analysis based on EESI-MS indicate blue LED light promotes aliphatic-glucosinolates biosynthesis in broccoli sprouts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 97, 103777. doi:10.1016/j.jfca.2020.103777
- Yang, L., Fanourakis, D., Tsaniklidis, G., Li, K. & Yang, Q. (2021). Contrary to red, blue monochromatic light improves the bioactive compound content in broccoli sprouts. *Agronomy*, 11(11), 2139. doi:10.3390/agronomy11112139
- Zhuang, L., Huang, G., Li, X., Xiao, J. & Guo, L. (2022). Effect of different LED lights on aliphatic glucosinolates metabolism and biochemical characteristics in broccoli sprouts. *Food Research International*, 154, 111015. doi:10.1016/j.foodres.2022.111015